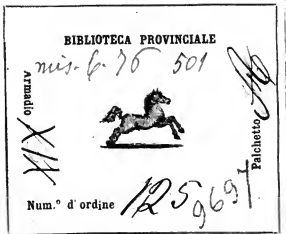
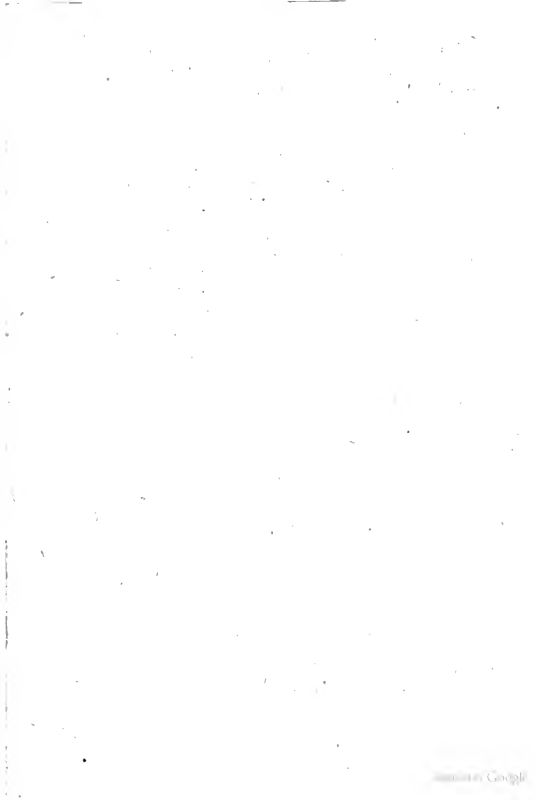
DONATI
DELLA DISTANZA
DELLE
STELLE DELLA TERRA

DELLA DISTANZA

DELLE

STELLE DALLA TERRA

LEZIONE POPOLARE

DEL

PROF. G. B. DONATI.

FIRENZE,

G. BARBÈRA, EDITORE

Via Faenza, N° 66.

1867.

AVVERTENZA.

Oltre alle Lezioni consuete e di corso, tutti i Professori del R. Museo di Fisica e Storia Naturale hanno fatto in quest' anno varie Lezioni Popolari, *con l'utilissimo scopo di rendere alcuni soggetti scientifici agevoli e piani alla intelligenza comune. Io pure feci una* Lezione Popolare, *la quale è una specie di Monografia che serve a spiegare il modo, onde può giungersi ad ottenere la misura delle distanze dei corpi celesti dal nostro pianeta. Mi sono indotto a pubblicarla; perchè credo che il soggetto debba destare la curiosità di molti, e che sarebbe utile a tutti il conoscere certi principii generali su cui si fonda uno dei più nobili ed elevati problemi dell'Astronomia.*

Firenze. Dall' Osservatorio del R. Museo
il 2 Aprile 1867.

G. B. Donati.

Che bella scienza e stupenda è mai l'astronomia! Quanto grande trasporto sento per essa! Quanto me ne occuperei volentieri, se ne avessi il modo ed il tempo! Queste, o simili cose mi accade sovente di udire, da quasi tutte quelle persone che vengono a visitare l'Osservatorio. E certamente io non erro nel credere, che voi tutti qui presenti siate disposti a ripetere altrettanto; giacchè non sareste qui convenuti, se dell'astronomia non vi prendesse amore e diletto.

Nè vi è invero da stupirsi, se la scienza degli astri, più di tutte le altre scienze, muove e commuove gli uomini in generale. Che cosa infatti vi è di più maraviglioso e di più generalmente ammirato del sorgere e del tramontare del sole? Della serena maestà della luna? Della quieta luce del cielo stellato? Delle misteriose comete, che talora abbracciano coi loro raggi quasi tutta la volta celeste? Sono questi tali fenomeni che dilettano e fanno stupire tanto il filosofo quanto il paesano, tanto il più valente astronomo quanto l' osservatore il più volgare. Ma, bisogna pur confessarlo, in opposizione a questo desiderio generale di conoscere i fenomeni celesti sta la mancanza quasi assoluta di nozioni giuste e complete intorno alla vera struttura dell' universo. Vi sono taluni che sentono da prima il desiderio di acquistare quelle nozioni; ma poi se ne ritraggono, perchè presi, direi quasi, da sgomento e da spavento: avvezzi ad apprezzare certe grandezze e certi movimenti dei corpi terrestri

si spaventano di un'infinità di corpi, di spazi, di movimenti, di mondi: costoro non sanno che il telescopio e il microscopio provano già a sufficienza che in natura non vi sono limiti, nè per il grande, nè per il piccolo. Altri poi retrocedono, perchè presi da noia; speravano costoro che lo studio dell'astronomia fosse tutto dilettevole e giocondo, come lo stare di quando in quando a contemplare per diporto il firmamento, e al contrario, anche se prendono un libro astronomico adattato alla intelligenza comune, voglio dire uno di quei tali libri in cui non si fa uso delle formule matematiche, trovano in quei libri (se ne togli le parti puramente descrittive, le quali trattano delle apparenze fisiche dei corpi celesti) trovano, dico, in quei libri una tal sequela non interrotta e concatenata di ragionamenti, di cui alla per fine si stancano e si annoiano. Per queste ragioni, mi è avvenuto non di rado di incontrarmi a sentir dire da persone non solamente culte, ma anche dotte in altre materie, che non credono, per esempio, che si possa misurare la distanza da noi alla luna, da noi al sole, da noi alle stelle. Insomma, o per una ragione, o per l'altra, è un fatto che si trascura in generale di soffermarsi a considerare la struttura dell'universo; e se oggi non si ritiene più che gli astronomi sieno astrologi, pur si crede che l'astronomia sia una scienza quasi del tutto speculativa ed ipotetica; o che per lo meno, neppure le cose fondamentali e principali che essa insegna, possano essere comprensibili da chi manca degli studi matematici.

Eppur la cosa non sta in questo modo. Certo che allo sviluppo dell'astronomia sono necessarie le forze più energiche della matematica; ma per rendersi conto per quali vie proceda questa scienza, affine di arrivare alle sue conclusioni, e per farsi così un'idea giusta e coscienziosa della gran macchina dell'universo, non è affatto necessaria la matematica, e solo basta che uno abbia la pazienza di tener dietro ad un séguito di ragionamenti che, quantunque non soccorsi dalle formule matematiche, pure conservano un carattere, sotto certi rapporti, sempre matematico. Questo costerà al certo fatica, a chi non ne ha la consuetudine; ma la verità non si acquista mai a poco prezzo,

e l'umano intelletto deve sempre affaticarsi e non mai stancarsi, se vuol veramente penetrare oltre la prima faccia delle cose.

L'insieme dei corpi celesti costituisce una macchina in cui tutto si compie a norma delle leggi eterne del moto. Immaginatevi in movimento un sistema di orologeria: le sue ruote si spingeranno le une contro le altre: l'artefice avrebbe potuto collocarle e ordinarle in infinite maniere diverse; ma poichè fu loro data in origine una certa particolare disposizione, quelle ruote dovranno continuare a muoversi secondo certe leggi fisse e inalterabili. Lo stesso accade della gran macchina mondiale: in essa tutto è disposto con un ordine tanto perfetto, e tutto vi è regolato con leggi tanto semplici, che all'umano intelletto è dato di grandemente avvicinarsi alla cognizione completa delle prime cause e degli intimi rapporti che producono e legano i vari fenomeni. Non ci sgomenti dunque la grandezza di quei fenomeni mondiali; e neppure, in altri rami di scienza, ci sgomenti la piccolezza e la complicanza di altri fenomeni. Chè anzi i fenomeni naturali sono, in generale, quelli che sono comprensibili all'umano intelletto, più di quei fenomeni che noi chiamiamo morali.

Non nego già che anche la filosofia puramente razionale non giovi, fino ad un certo punto, a invigorire le nostre facoltà intellettive; non nego già che la storia ci mostri le cagioni e gli effetti delle umane azioni, e che questo sia sempre di un utile grandissimo in tutte le vicende della vita; ma, in quanto a me, io intenderò sempre più facilmente che a un fenomeno naturale è indispensabilmente necessaria una forza, prima che intendere, per esempio, come e perchè la forza sia necessaria alla religione: io studierò più volentieri e intenderò più facilmente le ragioni naturali (quantunque complicate) per cui un turbine ha devastato e immiserito una intera provincia, prima che intendere come vi sieno popoli che devastano e immiseriscono intere provincie, che loro non appartengono. E non crediate già che con questo io voglia dire che, in fondo, non bisogni soffermarci e arrestarci anche nella spiegazione dei fenomeni naturali. Noi non sappiamo, nè sapremo mai ciò che sia, nè quello che chiamiamo pensiero, nè quello che chiamiamo

materia. Il pensiero e la materia (senziente, od inerte) sono due forze, che non saprei dirvi se si aiutino, o si combattano fra di loro; ma in ogni modo noi non conosciamo che gli effetti che producono le forze, senza però conoscere, la loro intima essenza; e di più il pensiero e la materia sono incommensurabili, sono infiniti, e noi non avremo mai un concetto esatto dell' infinito. « *State contenti umana gente al quia* » ha detto il nostro più gran poeta, e sta bene; stiamo contenti a quello che possiamo intendere e non ci perdiamo in vane speculazioni, nè presumiamo di poter tutto spiegare come più ci talenta. Ecco come a questo proposito scrive Galileo: « Molti dicono che » una cosa stia nel tale o nel tal altro modo, perchè in quel » tal modo si accomoda alla nostra intelligenza, e che altri- » menti il criterio della filosofia si guasterebbe, quasi che la » natura prima facesse il cervello agli uomini e poi disponesse » le cose conforme alla capacità del loro intelletto; ma è più » presto da supporsi la natura aver fatto prima le cose a suo » modo, e poi fabbricati gli intelletti umani abili a poter com- » prendere (ma però con gran fatica) alcuna cosa dei suoi se- » greti. » — È sempre Galileo che parla: — « Estrema temerità » mi è parsa sempre quella di coloro che vogliono fare la capa- » cità umana misura di quanto possa e sappia operare la na- » tura; dove all' incontro e' non è effetto alcuno in natura, per » minimo che sia, all' *intera* cognizione del quale possano ar- » rivare i più speculativi ingegni. Questa così vana presunzione » di intendere il tutto, non può avere principio da altro, che » dal non avere inteso mai nulla, perchè quando altri avesse » esperimentato una volta sola a intendere perfettamente una » sola cosa, ed avesse gustato veramente come è fatto il sapere, » conoscerebbe come dell' infinità delle altre conclusioni niuna » ne intenda. » Nonostante però queste sue convinzioni fu appunto il sommo Galileo, che non cessò mai, per tutta la sua vita, di indagare e spiegare i segreti della creazione; fu egli appunto che si fece l' iniziatore e il fondatore delle scienze di osservazione e sperimentali, anche a costo di subire le più vili ed atroci persecuzioni. E noi pure dobbiamo imitarne l' esempio, e,

com' egli fece senza oltrepassare i limiti del discorso umano, procurare di intendere tutti quei fenomeni naturali che ci accadono d' intorno, se vogliamo che per noi si amplifichi, non solo il mondo reale ma anche l' intellettivo; se vogliamo acquistar l' abito di ordinare e dedurre le nostre idee, ed acquistare così molti nuovi e sempre utili pensieri.

Ma non è mia intenzione di farvi qui una dissertazione di metafisica. E sì, che anche senza trattenermi su cose generali, ma entrando direttamente nella sfera della scienza che professo, potrei io farvi una lezione filosofica su molti soggetti particolari all'astronomia. Se prendessi, per esempio, a voler dimostrare che non è il sole che gira intorno alla terra, ma che è la terra che gira intorno al sole, potrei riferirvi tutti quegli argomenti filosofici che furono già messi in campo dagli oppositori e dai sostenitori di questo fatto. Gli uni dicevano che se la terra avesse girato intorno al sole, cioè se fosse stata anch' essa un corpo celeste, grande confusione e intorbidamento vi sarebbe stato nel sistema dell' universo, poichè fra i corpi celesti che (come essi sostenevano) sono immutabili e incorruttibili, si sarebbe trovata la sentina di tutte le materie corruttibili, che è la terra; ma a questo argomento opponevano gli altri, che giusto appunto per esser la terra la sentina delle materie corruttibili, era assurdo il supporla situata nel centro dell' universo, perchè i lazzeretti si pongono sempre lontani dalle città. Gli uni dicevano, che se la terra girasse intorno al sole finalmente dovrebbe stancarsi, come si vede accadere negli animali; e gli altri rispondevano, che allora si dovrebbe egualmente stancare la sfera celeste a ruotare continuamente intorno all' asse del mondo. Tali, ed un'altra infinità di ragionamenti di simil genere si andavano ripetendo su questo e sopra altri soggetti relativi alla gran macchina mondiale, finchè la scienza rimase nell' infanzia. Ma a nulla oramai gioverebbe il trattenersi in discorsi sempre poco persuadenti e resi quasi inutili dopo che la scienza è divenuta provetta; perchè appunto Galileo la tolse dalle vuote speculazioni e la condusse per le sicure vie dell' esperienza e dell' osservazione. È meglio dun-

que che io abbandoni questo campo filosofico, e vi parli piuttosto di qualche fenomeno fisico e naturale, scegliendolo fra quelli di cui si occupa la scienza degli astri. E certamente non vi vuol gran fatica a rintracciare nell'astronomia di tali soggetti; dappoichè è l'astronomia una scienza eminentemente fisica e naturale, occupandosi essa esclusivamente di tutti quei grandi fenomeni meccanici e fisici che accadono nell'universo. Ma quantunque questa scienza sia sostanzialmente fisica, è egli mai possibile il trattarla come le altre scienze fisiche si trattano? I miei dotti colleghi che mi hanno preceduto in questo genere di lezioni, vi hanno tutti, chi più chi meno, mostrato dei fatti; hanno, in vostra presenza, eseguito degli esperimenti; vi hanno presentato degli oggetti appartenenti alle ricche e bene ordinate collezioni di questo Stabilimento. Ancor io ho le mie collezioni; e non se ne ingelosiscano i miei colleghi, se sostengo che le mie, quantunque per l'Amministrazione più economiche, sono per altro più ricche, più vaste e meglio ordinate di quelle che essi e i loro antecessori, hanno con tante penose e dotte cure qui raccolte; ma le mie collezioni (non posso negarlo) hanno un difetto, sono inamovibili dai loro posti, e sono troppo grandi. Non posso portarvi in questa sala, nè le stelle, nè i pianeti, nè il sole, nè la luna; nè posso farvi vedere come si compiano i loro movimenti. Anche se in una limpida notte io vi invitassi sulla terrazza dell'Osservatorio per farvi lì una lezione, io non potrei mostrarvi tutto quello che sarebbe necessario per rendere la mia lezione completa; perchè non tutti i corpi celesti si trovano mai contemporaneamente sul nostro orizzonte, e perchè i loro moti, quantunque in realtà rapidissimi, sono in apparenza lentissimi, e quindi esigono un lungo esame ed un accurato studio per essere conosciuti. Non è sperimentale, ma è scienza di osservazione l'astronomia; e di più le sue osservazioni non si possono compiere in poco tempo, nè senza i mezzi convenienti: dal che deriva che gli stessi astronomi, per arrivare alle conclusioni di cui vanno in traccia, oltre a fare delle osservazioni proprie, sono sempre costretti a servirsi delle osservazioni fatte da quelli che li han preceduti. E a chi poi, non

professa l'astronomia, è necessario di aver la pazienza di sentir descrivere quelle osservazioni, di intenderne lo spirito e la possibilità di eseguirle, se vuol rendersi ragione dei risultamenti e delle conclusioni cui questa scienza conduce. Intendete dunque che io son costretto a rinunziare di farvi una lezione sperimentale. Potrei però farvene una descrittiva, tentando di rappresentarvi e dipingervi con le parole le imponenti maraviglie del cielo; ma a questo pure rinunzio, perchè sento che le mie parole rimarrebbero di troppo inferiori alla realtà. Ma poichè ho detto che non voglio farvi una lezione, nè filosofica, nè descrittiva; poichè vi ho dimostrato che non posso farvela sperimentale, qual altro genere di lezione mi resta a scegliere?

L'astronomia è la scienza dell' ordine. Quando coll' astronomia si rivolge lo studio alle leggi che regolano la vasta macchina dell' universo, allora la scienza tocca il più alto grado cui le è dato aspirare, cioè divien matematica. Io quindi preferisco questa parte più importante ed elevata della scienza, e vi farò una lezione matematica.

Ma non vi spaventate per questo; non mi servirò dell' algebra e molto meno del calcolo sublime che non devo supporre a voi tutti intelligibile; ma procurerò invece (per quanto potrò) di adoperare un discorso che non sia quello tecnico che si adopera fra gli scienziati di professione, ma che sia agevole e piano, e alla portata di tutti coloro che hanno soltanto una istruzione generale: vi mostrerò per quali vie si possa giungere, e si sia realmente arrivati in questi ultimi tempi, a misurare le distanze fra noi ed alcune stelle: e nel far questo mi si offrirà l' occasione di parlarvi incidentalmente di molte altre importantissime cose. Però ve ne discorrerò in un modo arido, in un modo insomma che, senza adoprar formule matematiche, ciò non pertanto conserverà sempre un indole matematica: così richiede necessariamente il soggetto, e quindi vi prego della vostra attenzione.

Quando si cominciò a sostenere che la terra girava intorno al sole e non già il sole intorno alla terra, s'intese subito che

tutti quei corpi visibili dalla terra e che non partecipano al movimento di lei, dovevano apparire in moto sulla sfera celeste, anche quando essi fossero stati in realtà immobili.

È infatti un'esperienza che ci occorre di fare ogni giorno, anzi ogni momento, che il moto apparente di un oggetto può derivar tanto dal moto reale di quell' oggetto, quanto dal moto del punto da cui quell' oggetto si osserva. Se noi guardiamo gli oggetti di questa stanza mentre stiamo fermi, noi vediamo gli oggetti pur fermi: ma basta che noi muoviamo soltanto un poco la testa perchè ci sembri che gli oggetti si muovano. Quando andiamo in vettura, quando ci muoviamo col treno di una strada ferrata, noi vediamo apparentemente muoversi gli alberi, le case, i monti; e di più ognuno di noi ha sperimentato che quei movimenti apparenti sono tanto più palesi, sono tanto più grandi, quanto più vicini sono gli oggetti circostanti. Appariscono muoversi rapidissimamente i pali del telegrafo elettrico, i quali sono in prossimità delle rotaie, si muovono più lentamente gli alberi ed i caseggiati distanti, e si muovono appena appena i monti lontani situati all'estremo orizzonte. Anche un altro esempio. Vi è mai accaduto di essere in una strada a notte oscura, e di riguardare i lumi dei lampioni a gas? Vi si presentano in distanza diversi lumi; se vi fermate ad osservarli e non fate attenzione agli oggetti circostanti, vi accadrà spesse volte, di non sapervi render ragione delle varie distanze di tutti quei lumi: non saprete se un tal lume che trovasi alla vostra destra sia più o meno vicino di un altro che è alla vostra sinistra; ebbene, incominciate allora a camminare, e vedrete che quei lumi cambiano di posizione rispetto a voi, se allora notate che un tal lume vi apparisce mosso più di un altro, voi potete subito giudicare che quel tal lume è più vicino a voi dell' altro che vi apparisce meno mosso, cioè meno spostato dalla sua posizione primitiva. Forse vi è già accaduto di fare un tal giudizio, ma, come spessissimo accade per le cose che sono appunto le più comuni, voi forse non vi sarete accorti della vera causa che vi spingeva a fare quel giudizio. Precisamente gli stessi fenomeni che si verifi-

cano costantemente per gli oggetti che ci stanno vicini devono pure verificarsi (nelle debite proporzioni) per i remoti corpi celesti quando realmente la terra (come per il primo sostenne Copernico) si muova nello spazio, girando intorno al sole. Se questo movimento della terra esiste, le stelle dovranno apparire in cielo in movimento, cioè dovranno apparentemente cambiar di luogo: e di più, per quello che abbiamo detto, quel moto apparente delle stelle sarà tanto più grande, quanto più esse saranno prossime alla terra, e sarà all' opposto tanto più piccolo quanto più le stelle saranno distanti, e quindi la grandezza di quel movimento, che non sarà per tutte le stelle eguale se le stelle non saranno tutte a eguale distanza da noi, ci potrà essere di guida per farci conoscere le varie distanze delle stelle dal nostro globo.

A questa evidente conseguenza dei precetti Copernicani si opponeva però un altro antichissimo precetto che diceva che le stelle non cambiano di posizione relativa. Allorchè Copernico venne fuori col suo sistema del mondo gli furono subito fatte delle grandissime e accanitissime obiezioni, fra le quali campeggiava, per la sua gravità e per le sue conseguenze, quella sopra accennata. Certamente i nemici dei nuovi precetti avevano ragione di pretendere che i fautori di essi additassero i movimenti che in séguito di quei precetti avrebbero dovuto avere le stelle. E i seguaci di Copernico non potevansi difendere altrimenti che supponendo la distanza delle stelle da noi tanto grande, che anco i maggiori spostamenti cui va soggetta la terra nel corso di sei mesi, producessero cambiamenti di direzione tanto piccoli, da non essere apprezzabili; perchè minori degli errori delle osservazioni, in quei tempi molto imperfette.

Ma avanti di progredire oltre, è necessario che io vi spieghi più particolarmente di qual genere sia l' influenza che il cambiamento di luogo della terra nello spazio, ha sulla direzione secondo la quale ci appariscono le stelle. Una linea retta che unisce un punto ad un altro, ha evidentemente la medesima direzione tanto che si supponga condotta dal primo al secondo, quanto che si supponga invece condotta dal se-

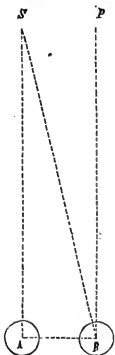
condo al primo punto; e quindi la retta che può immaginarsi condotta dalla terra ad una stella, intersecherà la sfera celeste in due punti che sono diametralmente opposti fra di loro. Una stella fissa veduta dalla terra, apparisce adunque sulla sfera celeste in un punto diametralmente opposto a quello nel quale comparirebbe la terra veduta dalla stella; e poichè, secondo i precetti Copernicani, la terra in un anno descrive intorno al sole un' orbita circolare, o poco diversa dal circolo, quindi anche la stella nel corso di un anno dovrà pure apparentemente descrivere un' orbita sulla sfera celeste; e quest' orbita sarà, tanto nella forma quanto nella grandezza, perfettamente eguale a quell' orbita che la terra sembrerebbe descrivere in un anno se fosse veduta dalla stella, e non differirà da essa che per apparire sulla parte diametralmente opposta della sfera celeste.

Ma poichè l' orbita descritta dalla terra in un anno è presso a poco un circolo, così quell'orbita veduta dalle stelle apparirà della stessa figura di un circolo, o di quella figura sotto cui ci comparisce un circolo che sia veduto obliquamente, cioè di una certa figura ovale, che si chiama *ellisse*, e quest'ovale sarà tanto meno aperta quanto più piccolo sarà l'angolo, secondo il quale una retta condotta dalla stella al sole incontrerà il piano in cui è situata l' orbita terrestre.

Cercherò di spiegarvi anche maggiormente tutto questo in un modo molto ovvio. Immaginatevi che dal centro del palco di questa sala sia sospesa una lampada; supponete di aver determinato il punto in cui la corda che sostiene la lampada andrebbe ad incontrare il pavimento, quando fosse prolungata; e supponete intorno a quel punto, preso come centro, disegnate sul pavimento delle figure diverse di forma e di grandezza, cioè dei circoli, delle ovali, dei triangoli, dei quadrati più o meno grandi: immaginatevi ora, mentre guardate la lampada, di camminare lungo quelle figure, e di notare e far contrassegnare sul palco i diversi punti sui quali la lampada si proietta, cioè i diversi punti del soffitto che essa vi nasconderà successivamente. Quando voi camminerete per una circonferenza, otterrete nel soffitto dise-

gnata un'altra circonferenza; se per un'ovale, avrete nel soffitto un'altra ovale; se sopra un triangolo, o un quadrato, otterrete per corrispondente nel soffitto, un triangolo, od un quadrato. E di più quelle figure nel soffitto, oltre ad essere sempre simili a quelle che voi percorrete sul pavimento, saranno anche maggiori o minori, secondo che le figure che voi avrete percorso sul pavimento saranno più grandi o più piccole. Se voi vi muoverete, per esempio, lungo una certa circonferenza, avrete nel soffitto una certa circonferenza corrispondente; e se poi vi muoverete lungo una circonferenza doppia della prima, anche sul soffitto avrete una circonferenza doppia di quella ottenuta avanti. Ma la grandezza di quelle tali figure che risulterebbero per tal modo disegnate sul palco non dipende soltanto dalla grandezza delle figure che voi percorrete sul pavimento, ma ancora dall' altezza della lampada dal pavimento stesso. Se camminando, per esempio, lungo un circolo voi avete ottenuto nel soffitto un certo circolo corrispondente; e poi inalzate di più la vostra lampada, e tornate a camminare lungo lo stesso circolo di prima, allora il circolo corrispondente nel soffitto non sarà più quello di prima, ma uno più piccolo; e tanto più piccolo quanto maggiormente avrete scorciata la corda che sostiene la lampada, cioè quanto più questa sarà distante da voi. Certamente che in cielo non abbiamo il soffitto su cui disegnare le figure che i corpi sospesi nello spazio, come la nostra lampada, dovranno apparentemente descrivere se noi ci muoviamo. La volta celeste è solamente un concetto della nostra mente, perchè in realtà lo spazio è infinito; ma se non possiamo disegnare sulla volta celeste le figure che apparentemente descrivono gli astri, possiamo bensì, per mezzo di adattati istrumenti, determinare le direzioni differenti secondo le quali gli astri ci appariscono in cielo. Si adoperano in astronomia certe macchine che hanno disposizioni differenti a seconda dei differenti usi cui devono servire, ma che quasi tutte consistono in circoli che portano una divisione incisa sulla loro circonferenza, e intorno al centro dei quali si muove un cannocchiale. Dirigendo il cannocchiale ad una certa stella, si ha la direzione lungo la quale quella stella si mostra, e ciò si ottiene

portando l' immagine di quella stella sotto l' intersezione di due sottilissimi fili di tela di ragno disposti nell' interno del cannocchiale in tal modo che sono visibili chiaramente quanto l' immagine della stella stessa. Leggendo poi sul circolo la divisione cui corrisponde il cannocchiale quando questo è diretto a quella stella, avremo il mezzo di distinguere quella direzione da tutte le altre che il cannocchiale potrebbe avere. Sapremo, per esempio, che quando il cannocchiale è diretto a quella stella corrisponde sul circolo ad una certa divisione, la quale differisce di tanto e tanto dalla divisione cui, sullo stesso circolo, corrisponde il cannocchiale quando esso è parallelo al filo a piombo, cioè quando è diretto a quel punto dello spazio che sta a perpendicolo della nostra testa, e che si chiama *zenit*.

Or bene, immaginatevi che in un certo momento la terra sia in A (*Fig. 1.*) e che in quel momento una certa stella che trovasi in S si mostri esattamente al nostro *zenit*, vale a dire che in quel momento la divisione del circolo cui corrisponde il cannocchiale diretto alla stella, sia la medesima divisione cui corrisponde il cannocchiale quando esso è parallelo al filo a piombo. Immaginatevi ora che la terra muovendosi nello spazio, sia, dopo sei mesi, dal punto A venuta nel punto B, lo che equivale a dire che i due punti A e B sieno le estremità opposte di un diametro dell' orbita terrestre; allora la stella S veduta dalla terra si mostrerà nella direzione $B\ S$, la qual direzione sarà diversa dalla direzione $B\ P$ del filo a piombo; e quindi, mentre il cannocchiale è diretto a quella stella, non corrisponderà più alla stessa divisione cui corrisponde quando è parallelo al filo a piombo, come accadeva allorchè la terra era nel punto A; ma corrisponderà ad una divisione che differirà dall' anzidetta

di una quantità eguale all'angolo *P B S*, che è lo stesso dell'angolo *A S B*. È facile intendere che, rimanendo la stessa la distanza *A B*, quell'angolo sarà tanto più piccolo quanto più grande sarà la distanza del punto *S* dai punti *A* e *B*, cioè quanto più la stella sarà distante dalla terra, e che quell'angolo diverrebbe nullo se quella distanza fosse realmente infinita. Intendete dunque fin d'ora che la conoscenza della grandezza di quell'angolo può guidarci alla conoscenza della distanza delle stelle dalla terra, ed io mi tratterrò in séguito più lungamente per dimostrarvi come infatti, quando sia possibile di misurare quell'angolo *A S B*, cioè l'angolo il quale determina lo spostamento che il luogo in cui apparisce una stella subisce in forza del movimento annuo della terra intorno al sole, sia pure possibile di misurare la distanza della stella dalla terra. Ma perchè dunque, se il risolvere il problema di misurare la distanza delle stelle dipende dalla misura di un angolo, quel problema non si è risoluto fino dai primordi dell'astronomia, e si è risoluto soltanto in questi ultimi tempi? La ragione sta in questo, che le stelle si trovano a distanze da noi tanto enormi che, ancora per le più vicine, quell'angolo *A S B* è di una tal piccolezza, che giunge all'estremo di quello che ci è possibile di misurare, anche con gli strumenti i più delicati, di cui oggi si serve la scienza.

Non è dipeso da altro che dalla estrema piccolezza di quell'angolo, se da quando fu posto nettamente il problema di misurare le distanze delle stelle dalla terra fino a che non fu, per alcune stelle, realmente risoluto, trascorsero quasi tre secoli. Ed io non credo di dovere qui tralasciare di parlarvi brevemente dei tentativi che furono fatti per misurare appunto quel piccolissimo angolo *A S B* e delle grandi scoperte che in séguito di quei tentativi ne risultarono.

Finchè non si conosceva il cannocchiale, era impossibile il misurare dei piccoli angoli, perchè ad occhio nudo ci sfuggono le piccole grandezze.

Le prime determinazioni dei luoghi delle stelle furono fatte da Tyco Brahe nell'isola di Haven; ma ai tempi di Tyco non si conosceva il cannocchiale, e nelle macchine che egli ado-

però vi erano soltanto dei semplici traguardi. Dalle osservazioni eseguite con quelle macchine non risultò che nelle posizioni delle stelle avvenissero degli spostamenti. Ciò per altro non provava che quelli spostamenti non esistessero: potevano esistere, ma esser minori di quelli che possono apprezzarsi con l'occhio non armato di lenti.

Dopo Tyco, Flamsteed all' Osservatorio di Greenwich si occupò della determinazione dei luoghi delle stelle, facendo uso di macchine corredate di cannocchiali, e trovò che nelle posizioni delle stelle si verificavano dei cambiamenti; ma quei cambiamenti erano di tal natura che non si potevano spiegare col moto annuo della terra intorno al sole; però, allora, non si seppero neppure spiegare in altro modo.

Stando così le cose, non vi era dubbio che dovesse esistere una causa ignota che produceva quei cambiamenti; bisognava dunque trovarla. E infatti fu in seguito trovata; e fu una delle scoperte tanto importanti dell'astronomia, che non posso tralasciare di dirvene poche parole.

A Flamsteed successe, nell'Osservatorio di Greenwich, Bradley, il più grande astronomo del secolo passato. Quest'astronomo in compagnia di Molyneux si propose, come già avevano fatto Tyco e poi Flamsteed, di ricercare se nelle posizioni delle stelle si verificassero dei cambiamenti dipendenti dal movimento della terra intorno al sole. Bradley incominciò le sue indagini nel dicembre del 1725 osservando la stella γ (*gamma*) del Dragone, e dopo un certo tempo egli e Molyneux si accorsero che in quella stella si verificavano indubitatamente dei cambiamenti di luogo, ma che quei cambiamenti non potevano essere l'effetto del movimento della terra nello spazio; dappoichè mentre per il corso di *sei* mesi, quella stella si moveva apparentemente un poco dal nord verso il sud, e poi ritornava indietro, e per gli altri sei mesi successivi appariva invece moversi dal sud verso il nord, e così alternativamente; però non raggiungeva le sue posizioni estreme verso il nord e verso il sud in quei momenti in cui avrebbe dovuto, qualora quei cambiamenti apparenti di luogo fossero realmente derivati dalla

diversa posizione che la terra occupava nello spazio. Qualche cosa si era dunque trovato. Ma che cosa si era trovato? Invano Bradley e Molyneux cercarono per lungo tempo la risposta a questa dimanda. Allora Bradley fece costruire un nuovo strumento più completo di quello che aveva adoperato in principio, ed estese le sue osservazioni a circa 50 stelle; e in tutte trovò che si verificavano dei cambiamenti di luogo, i quali dipendevano dalle posizioni secondo cui apparivano quelle stelle sulla volta celeste, e da quelle stesse posizioni erano pur dipendenti i tempi in cui gli spostamenti osservati acquistavano i loro massimi limiti. In tal modo Bradley giunse ad analizzare così completamente quei movimenti apparenti delle stelle, che non era più possibile di non riconoscere la causa da cui derivavano. E in infatti, dopo tre anni di continue osservazioni e di diligenti studi, Bradley trovò di quei fenomeni la vera spiegazione; che io cercherò qui di farvi intendere.

Facciamoci un'idea giusta di ciò in cui consiste la direzione lungo la quale ci apparisce un oggetto che noi guardiamo. Questa direzione viene determinata dalla direzione secondo cui ci perviene la luce che, partendo da quell'oggetto, giunge al nostro occhio. Fino dai tempi di Bradley si sapeva che la luce non si propaga nello spazio in un modo instantaneo; ma che come il suono, quantunque di gran lunga più rapida di questo, impiega pure un certo tempo per propagarsi. La luce che parte da un oggetto luminoso si diffonde nello spazio con una velocità di circa 310 chilometri per ogni minuto secondo. Premesso questo, s'intende che se noi ci muoveremo con una rapidità abbastanza grande che sia qualche cosa in confronto della velocità della luce, e se in quel mentre osserveremo un oggetto che non partecipi al movimento nostro, noi vedremo quell'oggetto non nella direzione in cui realmente dovrebbe apparire quando noi stessimo fermi, ma lo vedremo in una posizione differente. Sulla terra ci è impossibile di muoverci con velocità tanto grandi che siano qualche cosa in paragone della immensa velocità della luce, e per questo vediamo sempre gli oggetti terrestri nella posizione in cui sono

realmente: ma nello spazio la terra si muove, e trasporta noi seco, con una velocità di circa trenta chilometri e mezzo per ogni minuto secondo. Questa velocità è qualche cosa in confronto di quella della luce, e quindi ne avviene che le direzioni secondo cui ci appariscono le stelle e tutti gli astri sono un poco influenzate dal rapido movimento della terra nello spazio.

Ecco un esempio che può servire a fare intender meglio tutto questo. Immaginatevi che venga giù una pioggia quieta, vale a dire senza che aliti nell'atmosfera il minimo vento. Se questa pioggia cade sopra di voi mentre state fermi, voi giudicherete senz'altro che la pioggia cada verticalmente, cioè nella direzione del filo a piombo: ma se vi movete, sentirete la pioggia percuotervi la faccia e non vi parrà più che cada in direzione verticale, ma che venga invece con una direzione opposta a quella secondo cui vi movete. Così accade per la luce, che è, per così dire, una pioggia che emana dagli astri: essa ci viene in una certa direzione; ma poichè noi ci moviamo nello spazio con una rapidità grandissima, crediamo che ci pervenga in una direzione un poco differente da quella che ha realmente, e quindi noi, che non abbiamo altro mezzo per giudicare della posizione di un corpo, che la direzione secondo cui la sua luce giunge al nostro occhio, giudichiamo necessariamente che gli astri siano in luoghi un poco differenti da quelli in cui sono di fatto. Ma la terra non si muove nello spazio in linea retta, bensì secondo una curva che differisce di poco dalla circonferenza di un circolo, o in altri termini la direzione secondo cui la terra muovesi nello spazio non rimane sempre la stessa, ma cambia anzi continuamente. Fra sei mesi, per esempio, la terra si moverà nello spazio in una direzione opposta a quella con cui si muove in questo momento; e per conseguenza anche le posizioni delle stelle sulla volta celeste ci appariscono periodicamente un poco cambiate nel corso di un anno.

Questo fenomeno, dipendente dalla velocità della luce e da quella della terra, si chiama *aberrazione*.

Bradley scoprì pure che i luoghi delle stelle sono sog-

getti ad un altro movimento, il quale si riproduce periodicamente nel corso di 19 anni, e che dipende dall'attrazione che la luna esercita sulla terra, al qual movimento fu dato il nome di *nutazione*. Ma io non starò qui a spiegarvi come accada questo movimento; perchè me ne manca il tempo, e perchè esso non può confondersi con l'altro che dovrebbe verificarsi nelle posizioni delle stelle a causa del moto della terra nello spazio, e che deve quindi riprodursi periodicamente nel corso di un anno.

Nonostante la esattezza delle sue osservazioni, Bradley non riuscì a scoprire in alcuna delle stelle da lui osservate alcun cambiamento di posizione che potesse derivare dal moto della terra nello spazio. Ma però egli scoprì l'altro movimento che vi ho spiegato dipendente dalla velocità della luce e della terra, e ciò costituiva una prova del moto della terra intorno al sole, più irrefragabile e più luminosa dell'altra prova di cui si andava in traccia; dappoichè non potrebbe accadere il fenomeno dell'aberrazione se il nostro globo non si movesse nello spazio.

Nel 1781 Guglielmo Herschel, il grande astronomo di cui tutti avrete inteso rammentare il nome, tentò di riconoscere gli spostamenti che i luoghi apparenti delle stelle avrebbero dovuto subire in forza del moto annuo della terra, seguendo una via diversa da quella battuta da tutti gli astronomi che lo aveano preceduto. Egli considerò che per conoscere e misurare quei cambiamenti di luogo, è indifferente il riferire la stella a un punto piuttosto che a un altro. Herschel sapeva che esistono in cielo delle stelle che vedute ad occhio nudo appariscono semplici, ma che con un buon cannocchiale si risolvono, cioè si decompongono, in due o più stelle: egli credè, in principio, che quelle stelle che si dicono le *componenti* di una stella doppia ci comparissero in quel modo vicine, solo perchè situate presso a poco sulla stessa linea visuale, ma che in realtà siano molto distanti fra di loro. Se ciò fosse, dovrebbe accadere che osservando quelle stelle da due punti differenti dello spazio, la loro distanza apparente dovrebbe trovarsi cambiata; poi-

chè se si immagina che la retta che unisce quelle stelle componenti sia prolungata, e che incontri, per esempio, la terra in questo momento, non la incontrerà più fra sei mesi, quando la terra sarà giunta nella parte opposta della sua orbita.

Herschel si fece dunque a ricercare con i suoi potenti telescopi queste stelle doppie, ed a determinare le distanze relative delle stelle componenti. Egli preferì questo metodo, perchè così poteva adoperare un gran cannocchiale, nel quale erano visibili due sottilissimi fili, la cui distanza era conosciuta, e che poteva anche variare a piacere in un modo noto ; e quindi riferendo a quella distanza dei fili le distanze delle *componenti* le stelle doppie, potevasi facilmente conoscere se queste ultime distanze subivano dei cambiamenti. Così si levavano di mezzo i grandi circoli graduati, e tutti gli errori provenienti dalle imperfezioni, sempre inevitabili, delle graduazioni, e di più si poteva adoperare per quella ricerca un cannocchiale molto grande e potente, mentre per le difficoltà che si incontrano nella pratica a dividere bene i grandi circoli, e dovendo sempre i cannocchiali essere proporzionati alla grandezza dei circoli stessi, non potevansi con i metodi seguiti per lo innanzi adoperare che cannocchiali di mediocre grandezza.

Herschel scoprì con questo suo metodo di osservare, che le distanze di una parte delle *componenti* le stelle doppie da lui studiate, cambiavano realmente col tempo: ma che quei cambiamenti non potevansi spiegare col moto della terra nello spazio; bensì erano dovuti al girar che fanno quelle stelle componenti le une intorno alle altre, per la ragione che si attraggono vicendevolmente; come appunto segue fra il sole, la terra e tutti gli altri pianeti del nostro sistema solare.

In generale adunque, le stelle doppie non ci appariscono tali per una combinazione semplicemente ottica, ma perchè esiste realmente fra le varie stelle che le compongono un legame fisico e reciproco. Questa grande scoperta che l' attrazione universale non si limita soltanto al nostro piccolo sistema planetario, ma che si estende a quegli immensi e remotissimi sistemi stellari, distolse naturalmente Herschel dalla sua prima ricerca, e quindi

la soluzione del problema di determinare la distanza delle stelle dalla terra rimase un' altra volta sospesa.

Dopo Herschel, l'astronomo Bond a Greenwich, e il Piazzi a Palermo, tentarono nuovamente di risolvere questo problema; ma essi abbandonarono il metodo suggerito da Herschel e quindi non giunsero a nessun risultamento decisivo.

Finalmente nel 1837 Bessel, il grande astronomo di Conisberga, richiamò in vigore il metodo di Herschel, e con un grande ed ottimo cannocchiale di una forma particolare, che non è qui il luogo di descrivere, si mise ad osservare accuratamente la stella doppia conosciuta col nome di *sessantunesima del Cigno*, la quale è una stella di *sesta grandezza* appena visibile a occhio nudo, e trovò che le stelle componenti questa stella doppia, nel corso di sei mesi subivano uno spostamento relativo, nella loro distanza, di $^7/_{10}$ di *secondo di arco*, e che quella distanza variava appunto in corrispondenza col moto della terra intorno al sole. Bessel misurò insomma quell' angolo $A\ S\ B$, di cui vi parlai quando vi feci la *Figura 1ª*; e quell' angolo risultò per la 61ª del Cigno di $^7/_{10}$ di *secondo di arco.*

Vi ho già detto nel corso di questa lezione, come noto che sia quell' angolo per una stella, è pure possibile di misurare la distanza di quella stella dalla terra; ma poichè questo è il nodo della quistione che ci occupa, io mi tratterrò ora più estesamente su questo punto.

Dirò cose dalla maggior parte di voi ben conosciute: vi ho parlato, per es., di $^7/_{10}$ di *secondo di arco:* forse tutti intendete ciò che questo significhi; ma pure, in questa occasione mi scuserete, se io non suppongo che tali cose sieno a voi tutte familiari; e perciò consentite che io mi trattenga su certe spiegazioni elementarissime.

Spesse volte mi sono incontrato a sentirmi dimandare: quanto è grande un *grado* di un circolo? Questa è una dimanda a cui non si risponde. Un grado può essere grande o piccolo secondo che appartiene ad un circolo grande o ad uno piccolo, e pure il suo valore, che è un valore angolare e non di lunghezza, rimane sempre lo stesso qualunque sia la grandezza del grado.

La circonferenza di un circolo qualunque si suppone sempre divisa in 360 parti eguali che si chiamano *gradi;* ogni grado si suppone diviso in 60 parti eguali che si chiamano minuti *primi*: ed ogni primo si suppone a sua volta diviso in 60 parti eguali che si chiamano minuti *secondi.*

Suppongo che dalla geometria non sappiate a quanti gradi, a quanti primi e a quanti secondi corrisponde un arco di circonferenza, il quale eqüivalga alla lunghezza del raggio di un circolo. Or bene, immaginatevi di avere tre circoli, uno piccolo, uno mezzano ed uno grande, e che le circonferenze di questi tre circoli sieno tutte divise in gradi, cioè ciascuna in 360 parti eguali. Se allora prenderete un filo che sia eguale alla lunghezza del raggio del circolo piccolo, e poi, curvandolo, applicherete questo filo sulla circonferenza di quel circolo piccolo, voi vedrete che quel filo vi abbraccerà, molto prossimamente, sulla detta circonferenza un arco di 57 gradi. Se farete questa stessa operazione per il circolo mezzano giungerete allo stesso risultamento: un filo lungo quanto il raggio del circolo mezzano abbraccerà sulla circonferenza di questo un arco prossimamente eguale a 57 gradi. Lo stesso otterrete per il circolo grande, e per qualunque altro circolo di qualsivoglia grandezza. È dunque un fatto costante, perchè inerente alle proprietà geometriche del circolo, che un arco di un grado, a qualunque circolo quel grado appartenga, è sempre la 57*esima* parte del raggio del circolo a cui quel grado appartiene. Se non ci limitiamo soltanto a tener conto dei gradi, ma ci spingiamo fino ai primi, noi possiamo egualmente constatare, come lo abbiamo fatto per i gradi, che un filo lungo quanto il raggio di un circolo abbraccia sempre sulla circonferenza corrispondente un arco di 3438 primi; o in altri termini: che un arco di un primo, equivale sempre alla 3438*esima* parte del raggio del circolo corrispondente. Se poi ci spingiamo anche fino ai secondi, possiamo nello stesso modo constatare che un filo lungo quanto il raggio di un circolo, abbraccia sulla circonferenza 206265 secondi, il che equivale a dire che l'arco di un secondo è sempre la 206265*esima* parte del raggio.

Ripeto dunque che noi siamo certi, o per mezzo della Geometria, o anche per mezzo dell' esperienza, che:

l' arco di un *grado* è eguale a $1/_{57}$ del raggio,
l' arco di un *primo* è eguale a $1/_{3438}$ del raggio,
l' arco di un *secondo* è eguale a $1/_{206265}$ del raggio.

Ciò premesso e bene inteso, supponete di avere un circolo graduato, come questo che qui vi mostro, e che non è altro che un circolo sulla circonferenza del quale, per mezzo di convenienti divisioni incise sopra un lembo di argento, si possono leggere i gradi, i primi e i secondi, e che di più porta un cannocchiale girevole intorno al suo centro; di modo che se io faccio girare questo cannocchiale, io posso sapere per mezzo delle divisioni del lembo, o di quanti gradi, o di quanti minuti, o di quanti secondi lo avrò fatto girare. Prendete una riga lunga un metro, e fatela trasportare 57 metri lontana dal centro di questo circolo. Se allora osserverete successivamente col cannocchiale le due estremità di quella riga, voi troverete che, per puntare prima ad una e poi all' altra estremità di quella riga, il cannocchiale deve muoversi di un grado. È questa una conseguenza necessaria di quanto si è detto di sopra: quella riga ci apparisce di un grado perchè la sua distanza dal centro del circolo è 57 volte la lunghezza della riga stessa. Se fate trasportare la riga a 3438 metri dal centro del cannocchiale, la sua lunghezza vi comparirà minore di quella che vi appariva prima, e non dovrete far muovere il cannocchiale che di un solo primo, per puntarlo successivamente alle due estremità della riga. Supponete di far trasportare ancora la riga più lontana, e precisamente di 206265 metri dal centro del circolo, voi vedreste che basterebbe muovere il cannocchiale di un solo secondo, per puntarlo successivamente alle due estremità della riga. Da tutto questo, insomma, emerge naturalmente la conseguenza: che, osservando successivamente con un cannocchiale munito di un circolo graduato, alle estremità di una retta situata in lontananza dal cannocchiale stesso, e notando il numero dei gradi, dei primi e dei secondi di cui deve muoversi

il cannocchiale, per passare da una estremità all'altra opposta, è facile il dedurre il numero delle volte che la lunghezza di quella retta entra nella distanza che separa la retta stessa dal centro del cannocchiale.

Riferiamoci ora nuovamente alla Fig. 1 (pag. 16). Vi rammentate che in questa Figura il punto S rappresenta una stella, ed i punti A e B i luoghi in cui si trova la terra in due tempi differenti, distanti fra loro di sei mesi. Quando la terra è nel punto A, la stella situata nel punto S apparisce per noi lungo la direzione $A\ S$; quando la terra è nel punto B, la stella ci apparisce lungo la direzione $B\ S$.

Bessel trovò che per la stella 61ma del Cigno l'angolo, che la direzione $A\ S$ fa con la direzione $B\,S$, è di $^7/_{10}$ di secondo di arco. Come da questo angolo può dedursi la distanza di quella stella dalla terra? Torno di nuovo su questo punto che mi importa di chiarire il più possibilmente. Immaginatevi per un momento che fra i punti A e B si potesse porre una riga lunga quanto un diametro dell'orbita che la terra descrive intorno al sole, e che noi potessimo andare nella stella 61ma del Cigno con un cannocchiale munito di un circolo graduato; se allora di là noi osservassimo successivamente le due estremità di quella immensa riga, noi troveremmo che per puntare il cannocchiale, prima ad una delle estremità e poi all'estremità opposta, bisognerebbe far muovere il cannocchiale di un angolo precisamente eguale a quello osservato da Bessel, cioè di $^7/_{10}$ di secondo. Ma sappiamo, che quando per puntare successivamente alle estremità di una riga bisogna far muovere un cannocchiale dell'arco di un secondo, la distanza fra il cannocchiale e la riga è 206265 volte la lunghezza della riga stessa; quando dunque invece di un secondo noi non abbiamo da movere il cannocchiale che di soli $^7/_{10}$ di secondo, quella distanza fra la riga e il cannocchiale sarà anche più grande di 206265 volte la lunghezza della riga, e il numero delle volte che la lunghezza della riga entra nella detta distanza si otterrà prendendo 10 volte il numero 206265, e poi prendendo la settima parte del numero risultante; ciò che vuol dire che

bisogna dividere per 7 il numero 2062650; lo che dà 294664. Ecco dunque che con considerazioni di un'indole rigorosamente matematica, le quali, come vi accennavo in principio, saranno riuscite penose per chi non ha l' abitudine a questo genere di deduzioni, siamo giunti a concludere che la stella 61ma del Cigno è distante dalla terra 294664 volte il diametro dell'orbita che la terra descrive in un anno intorno al sole.

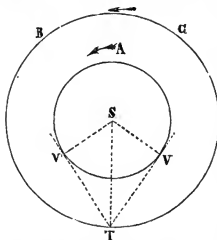
La metà dell'angolo *A S B* si chiama in astronomia *Paralasse* annua delle stelle.

Ma qui voi forse mi direte: Sta bene: valendovi delle proprietà geometriche del circolo, e spiegandoci come si possa misurare e si sia realmente misurato l'angolo *A S B (Fig. I, pag.* 16) ci avete dimostrato che la stella 61ma del Cigno è distante da noi di tanti diametri dall'orbita terrestre: ma questo dice poco per noi, che non possiamo misurare le distanze col diametro dell'orbita che la terra descrive intorno al sole, ma che sappiamo soltanto misurare col piede, con la tesa, col braccio, con la pertica, col metro. Sarebbe egli dunque possibile il sapere, per esempio, di quanti chilometri, e di quanti metri quella stella sia distante da noi? Per mostrarvi come realmente si possa avere in chilometri la distanza delle stelle dalla terra, basta che io vi dimostri ora, che si può avere in chilometri la distanza dalla terra al sole.

Mi ammetterete che si possa avere in chilometri il diametro del nostro globo. Dalle varie misure eseguite sulla terra, è resultato che il diametro terrestre è eguale a 12756 chilometri.

Una volta conosciuto in chilometri il diametro terrestre, per avere in chilometri la distanza dalla terra al sole, ecco il metodo che di preferenza hanno seguito gli astronomi, perchè il più sicuro fra gli altri metodi che pur potrebbero seguirsi per ottenere lo stesso scopo.

Sapete che vi è un pianeta chiamato *Venere*, che voi senza dubbio avrete notato spesse volte in cielo, perchè è il più lucente di tutti gli astri del firmamento. Questo pianeta lo avrete sempre visto in vicinanza del sole, la sera a occidente, e la mattina a levante, perchè la sua distanza da quell' astro è minore di quella della terra dal medesimo.

Poichè ci allontaniamo pochissimo dal vero, supponendo che Venere e la terra descrivano intorno al sole delle orbite circolari, prescinderemo, per semplicità di discorso, dal considerare la differenza che le dette due orbite hanno dal circolo, e le supporremo dunque circolari. Ciò premesso, immaginatevi che il centro del sole sia nel punto *S (Fig. 2)* e che le due circonferenze *V A V'* e *T B C* rappresentino, la prima l'orbita che Venere descrive intorno al sole, l'altra l'orbita che descrive la terra.

Supponete, per un momento, che la terra rimanga ferma nel punto *T*, mentre Venere compie la sua orbita. Voi vedrete, se considerate un poco questa Figura, che Venere, veduta dalla terra, potrà apparire o alla destra, o alla sinistra del sole; ma che l'angolo *V T V'*, il quale abbraccia le posizioni estreme corrispondenti alle massime distanze, a destra e a sinistra, di cui Venere ci può apparire discosta dal sole, non può superare un certo limite, e che questo limite è determinato dall'angolo che fanno fra di loro le due rette *T V* e *T V'*, le quali sono tangenti al circolo che rappresenta l'orbita descritta da Venere. E ancorchè non si supponga la terra ferma, è chiaro che Venere non potrà mai apparire discosta dal sole di un angolo maggiore di quello che la retta *T S*, che va dal sole alla terra, fa con la tangente *T V*, o con l'altra tangente *T V'*.

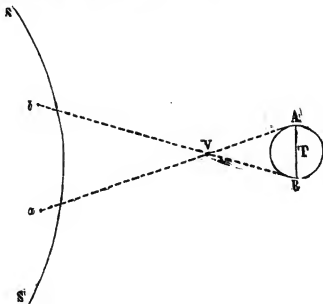
Le osservazioni intraprese per determinare le varie distanze apparenti fra il Sole e Venere, hanno fatto conoscere che quando questo pianeta si mostra maggiormente discosto dal sole, l'angolo delle due rette condotte, l'una dalla terra al

sole, e l'altra dalla terra a Venere (cioè l'angolo STV, o STV' che gli è eguale) risulta presso a poco di 47°; e poichè nel momento della massima distanza angolare di Venere dal sole, la retta SV che unisce il sole a Venere è necessariamente perpendicolare alla tangente TV, cioè l'angolo SVT è retto, o di 90°, o come si dice a squadra; quindi, del triangolo SVT si conoscono due angoli, quello nel punto T, e quello nel punto V. Io dico ora che quando del triangolo SVT si conoscono i due detti angoli, è possibile di conoscere il rapporto che passa fra la lunghezza della retta SV e la lunghezza della retta ST. Per chi conosce quella parte delle matematiche che si chiama Trigonometria, la quale si occupa delle relazioni che passano fra i lati e gli angoli dei triangoli, è cosa ben facile, sapendo che l'angolo in V è a squadra e che l'angolo in T è di 47°, trovare il rapporto fra la lunghezza della retta SV e quella della retta ST. Ma chi non conosce questa parte della matematica, e pure vuol rendersi conto, direi quasi materialmente, di questa possibilità di trovare il detto rapporto, prenda una carta, vi disegni due rette a squadra, una orizzontale, altra verticale, come, per esempio, le due rette Vx e Vy della *Figura* 3, segni sulla retta Vx un punto a piacere T, e poi, per mezzo di un circolo graduato, conduca dal punto T una retta TS che faccia con la retta Vx un angolo di 47 gradi. Fatta questa operazione, divida col compasso la parte VS della retta Vy in 18 parti eguali; se allora con la stessa apertura di compasso, con la quale ha determinato quelle 18 parti eguali della retta SV, per-

corre la retta *S T*, vedrà che quell' apertura entra 25 volte in questa ultima retta. La stessa operazione fatta per il punto *T*, si può ripetere per il punto *T'* e si troverà che, se si divide la porzione *VS'* in 18 parti eguali, la retta *S' T'* conterrà 25 di quelle parti eguali; e così per qualunque altro punto preso sulla retta *Vx*. Se, per es., il lato *VS* fosse di 18 braccia, il lato *S T* sarà di 25 braccia; se il lato *VS'* fosse di 18 metri, il lato *S' T'* sarà di 25 metri; e così di seguito. È dunque un fatto costante, dipendente dalle proprietà geometriche dei triangoli, che in ogni triangolo, o grande, o piccolo, in cui vi sieno due angoli, uno a squadra e l' altro di 47 gradi, il lato opposto all' angolo a squadra è rappresentato da 25, mentre il lato opposto all' angolo di 47 gradi, è rappresentato da 18. Questo ci porta a concludere che qualunque sia l' unità di misura con cui misureremo le distanze della terra e di Venere dal sole, i numeri che esprimeranno le lunghezze di quelle distanze dovranno avere fra di loro lo stesso rapporto di grandezza di quello che passa fra i numeri 25 e 18.

Io non ho considerato che il pianeta Venere e la terra; ma potrei mostrarvi che con considerazioni dello stesso genere di quelle che vi ho esposte, potrebbesi arrivare a conoscere quali sono i rapporti di grandezza esistenti fra le varie distanze di tutti i pianeti dal sole. Ed infatti, anche dalla storia dell' astronomia, sappiamo che gli antichi conoscevano quei rapporti molto prima che avessero alcuna nozione della grandezza assoluta di quelle distanze. Però il tempo stringe ed io devo concludere, e non estendermi più di quello che richiede il soggetto.

Il pianeta Venere qualche volta si interpone fra il sole e la terra. Quando fra il sole e la terra si interpone la luna, noi abbiamo un' eclisse del sole, ma quando si interpone Venere, noi non vediamo eclisse, perchè questo pianeta quantunque abbia un volume 43 volte maggiore di quello della luna, pure ci apparisce molto più piccolo del nostro satellite per essere situato ad una distanza molto maggiore da noi, e quindi

Venere ci apparisce sul disco del sole come un piccolo punto nero. Nella *Figura* 4, rappresenti T la terra e V rappresenti

Venere; ed SS' una porzione del disco solare; supponiamo che alle estremità di un diametro AB della terra siano situati due astronomi che osservino Venere mentre essa si interpone fra la terra e il sole: l' astronomo che si trova nel punto A vedrà Venere nella direzione di AV, e quindi Venere gli apparirà sul sole nel punto a; l' altro astronomo che si trova nel punto B vedrà Venere nella direzione di BV, e quindi Venere gli apparirà sul sole nel punto b. Immaginatevi che quei due astronomi abbiano il mezzo di determinare le posizioni di quei due punti a e b sul disco solare, e che conosciute quelle posizioni si possa dedurre l' angolo che la retta AV fa con la retta BV; allora sarà noto quale angolo abbraccerebbe una retta AB lunga quanto il diametro della terra, quando quella retta fosse veduta da un osservatore situato nel pianeta Venere. Non starò qui a parlarvi dei mezzi che si ado-

perano per determinare le posizioni dei punti *a* e *b* sul disco del sole. Per giungere a ciò, non fa bisogno di altro, che i due astronomi situati, l'uno nel punto *A*, e l' altro nel punto *B*, siano provvisti ciascuno di un buon cannocchiale e di un buon cronometro per misurare esattamente il tempo durante il quale, per ciascuno di loro, continua ad essere visibile il fenomeno di vedere Venere al disopra del disco solare; e appunto la semplicità di un tal modo di osservare è una delle ragioni per cui questo fenomeno serve stupendamente per farci acquistare la cognizione della distanza che passa fra la terra e il sole. Ma non è qui, da vero, il luogo di fare un esame della bontà e prevalenza di questo sopra altri metodi che potrebbero seguirsi per giungere a quella cognizione: a me basta che intendiate, che quando il pianeta Venere si interpone fra la terra e il sole, è possibile di determinare quanto è grande l'angolo *A V B*, cioè (lo ripeto) l' angolo che abbraccerebbe una retta *A B* lunga quanto il diametro della terra, quando quella retta fosse veduta da un osservatore situato nel pianeta Venere.

Mi sono già trattenuto lungamente per dimostrarvi, che quando si conosce l' angolo che una certa retta abbraccia quando è veduta da un certo punto, si può conoscere quante volte quella retta entri nella distanza che passa fra quel punto e la retta stessa; onde chiaro apparisce che dalle osservazioni di cui abbiamo parlato si può dedurre quanti diametri terrestri Venere è distante dalla terra: quando viene a interporsi fra noi e il sole: e poichè il diametro della terra lo conosciamo in chilometri, avremo pure in chilometri la detta distanza fra la terra e Venere. E se vi ricordate ora, come io vi abbia dimostrato che, rappresentando la distanza dalla terra al sole col numero 25, la distanza fra il sole e Venere deve essere espressa col numero 18, intenderete subito che quando Venere è interposta fra la terra e il sole (nel qual momento la sua distanza da noi non è altro che la distanza fra la terra e il sole, diminuita della distanza fra il Sole e Venere) intenderete dico, che in quel momento la distanza di Venere da noi

deve essere rappresentata dal numero 7, mentre la distanza dalla terra al sole è sempre rappresentata dal numero 25.

Se dunque risultasse dalle osservazioni del passaggio di Venere sul disco solare, che Venere in quel momento fosse distante dalla terra, per esempio, di 7 diametri terrestri, se ne concluderebbe che la distanza fra la terra e il sole è di 25 diametri terrestri; se risultasse invece che in quel momento Venere fosse distante dalla terra di 14 diametri terrestri, se ne concluderebbe che la distanza fra la terra e il sole è di 50 diametri terrestri; e così di seguito sempre in una proporzione eguale a quella che passa fra il 7 e il 25.

Dalle osservazioni fatte dei passaggi di Venere al disopra del disco solare e dai computi relativi è risultato che la distanza dalla terra al sole è in media eguale a 11992 diametri terrestri. E ho detto in media, perchè, come sapete, l'orbita che descrive la terra non è un circolo perfetto, ma ha invece una figura un poco ovale, dal che nasce che la sua distanza rispetto al sole ora è un poco più grande, ed ora un poco più piccola della distanza media.

Ma se la distanza dalla terra al sole è di 11992 diametri terrestri, e se il diametro terrestre è di 12756 chilometri, a calcoli fatti, risulta che la distanza fra la terra e il sole è di circa 153 milioni di chilometri.

Eccovi finalmente dimostrato che sappiamo misurare in chilometri la distanza fra la terra e il sole; e poichè il diametro dell'orbita descritta dalla terra intorno al sole non è altro che il doppio della detta distanza, e che vi ho dimostrato come si sia misurato con quel diametro la distanza della 61^{ma} del Cigno dalla terra, resta quindi pur dimostrato che si può avere in chilometri la distanza fra quella stella e la terra.

La distanza dalla terra alla stella 61^{ma} del Cigno è di

90,167,210,000,000 chilometri.

Il poter misurare col metro la distanza fra la terra e una lontanissima stella, con la quale non abbiamo altro legame che la luce che essa ci invia, è senza dubbio una cosa bella e ma-

ravigliosa. Però, per quanto io mi sia studiato di appianare la strada che deve percorrersi affine di ottenere quella misura, cercando di tratteggiarla in un modo facile e alla portata di tutti, vi sarete, pur troppo, accorti che io ho strettamente mantenuta la promessa che vi faceva in principio, di tenervi cioè un discorso arido e di un'indole matematica. E questo vi avrà pur persuasi, che non solo la quistione di cui vi ho principalmente intrattenuti, ma che tutte le più stupende e feconde deduzioni dell'astronomia sono sempre di una tale grandiosità da colpire chiunque, ma che i mezzi per cui si giunge a risolvere quelle quistioni sono sempre così aridi, minuziosi, e prolissi da sgomentare anche i più pazienti. L'astronomia conduce sempre a delle oasi vaste e ricreatrici; ma vi conduce sempre per vie lunghe, deserte e spinose.

Prima di lasciarvi, devo anche aggiungervi che poco dopo Bessel, l'astronomo Henderson misurò anch'egli la distanza fra la terra e la stella *Canopo*, che è una stella di prima grandezza appartenente alla costellazione australe del Centauro, e che non è visibile dalle nostre latitudini. Dalle osservazioni di Henderson risultò che lo spostamento che la posizione di Canopo subisce in un anno, a causa del moto della terra nello spazio, è di un *secondo* e 8 decimi di secondo; vale a dire quasi tre volte più grande di quello spostamento che, per la medesima causa, subisce la 61ma del Cigno; lo che porta che la stella Canopo è distante da noi poco più di un terzo della distanza che passa fra noi e la 61ma del Cigno. In seguito si è cercato di misurare la distanza di molte altre stelle dalla terra: ma le posizioni di tutte le stelle per le quali si sono fino ad ora instituite tali ricerche, o non hanno mostrato spostamenti apprezzabili che possano spiegarsi col moto annuo della terra, o hanno mostrato degli spostamenti di gran lunga inferiori a quelli della stella Canopo e della 61ma del Cigno. Per la Capra, per esempio, è stato trovato che quello spostamento non è che di 9 centesimi di *secondo*.

Il numero di chilometri che rappresenta la distanza dalla terra alla stella Canopo, che è la stella più vicina alla terra,

fra quelle di cui fino ad ora si è misurata la distanza, sarebbe, come vi ho detto, circa un terzo soltanto del numero che rappresenta la distanza della 61ma del Cigno: ma se io volessi qui scrivervi il numero di chilometri di cui la Capra e altre stelle sono distanti dalla terra, dovrei scrivere dei numeri che sarebbero molto maggiori di quelli già riportati per la distanza della 61ma del Cigno, e quindi sarebbero presso che inconcepibili, e a ben poco gioverebbero per darvi un'idea di quelle immense distanze. E infatti, voi vedete che il numero che rappresenta in chilometri la distanza della 61ma del Cigno è già tanto grande che a poco ci serve quando lo leggiamo, e diciamo che quella stella è distante dalla terra di *novantamila centosessantasette* miliardi di chilometri.

Per avere dei numeri più piccoli, prendiamo delle unità di misura più grandi. La luce impiega circa 8 minuti di tempo per giungere dal sole fino alla terra. Or bene, la luce non impiega meno di 10 anni a venire dalla stella 61ma del Cigno fino a noi. Un treno di strada ferrata che percorresse 1500 chilometri al giorno metterebbe non meno di 200 milioni di anni per percorrere la distanza che passa fra la stella 61ma del Cigno e la terra. Se io vi facessi dei paragoni consimili per la Capra e per altre stelle, vi dovrei citare dei numeri molto maggiori. Ma a che gioverebbe di insistere più oltre a citare dei numeri che, o sono tanti grandi che non si concepiscono, o che si riferiscono a unità di misure che egualmente poco noi concepiamo? Per dire che le stelle sono immensamente distanti da noi, si suol dire che ve ne possono essere di quelle che non hanno ancora mandato fino a noi la loro luce, e che perciò non sono ancora visibili dalla terra, ma che potranno vedersi con lo scorrere dei secoli! Si suol dire che se da alcuna delle stelle si potesse vedere ciò che accade sul nostro globo e si potesse registrare la nostra storia, non si sarebbe colà avuto ancora nessun sentore di Adamo, perchè la luce che dal corpo di quel nostro buon primo padre fu riflessa verso quelle stelle non è anche giunta colà! Certamente che non vi è nessuna impossibilità fisica contro queste asserzioni.

Ma voi vedete che se seguitassimo di questo passo noi ci perderemmo nell'infinito; ed io vi lascio. Non però senza prima dichiarare, che so bene di non aver detto tutto quello che dir potevo. Non vi ho parlato (e anche senza di troppo trattenermici) che delle osservazioni fatte per misurare la distanza della 61ma del Cigno; e non delle osservazioni fatte e dei risultamenti ottenuti per molte altre stelle. Non vi ho detto nulla degli errori inevitabili delle osservazioni, e della grandissima influenza che hanno; e quindi nulla delle incertezze che portano quegli errori sui valori delle distanze delle stelle dalla terra. Ho cercato di semplicizzare il più possibile; perchè il mio scopo era soltanto di farvi intendere la possibilità di misurare le distanze fra la terra e i corpi celesti, e in particolar modo fra la terra e le stelle fisse: di rendervi insomma persuasi che quando gli astronomi dicono che il tal astro è tanto e tanto distante dalla terra, possono realmente dirlo; e che non è un'arguzia, ma è una goffaggine, quando a lor si risponde: *e poi per conoscere, se quella distanza è realmente tale, si può prendere un filo e misurarla!*

Non so se avrò raggiunto lo scopo prefissomi. Sta a voi a giudicarlo.